褐飞虱对抗性水稻品种 Mudgo 个体致害性指标

周亦红，韩召军*
（南京农业大学农业部病虫监测与治理重点实验室，南京 210095）

摘要：在 28±1℃下，观测了褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 羽化 24 h 内短翅型雌成虫在敏感水稻品种 TN1 及抗性品种 Mudgo 上的寿命及体重增量。结果表明，取食抗性品种时，试虫的平均增重与寿命之间表现出明显的正相关。寿命在 7 天内的个体，存活期间平均体重增量为负值，而存活 7 天以上的个体则平均增重明显。进一步研究了初羽化的褐飞虱长翅型雌成虫在 TN1 及 Mudgo 上取食第 1～4 天的体重增量、寿命及产卵量，结果发现试虫在 Mudgo 上的这 3 个生物学参数之间存在明显正相关。其中，寿命及体重增量较好地反映出害虫个体对抗性品种的致害能力，可作为个体致害性指标。根据研究结果，提出将羽化后在 Mudgo 上存活 7 天以上或最初 4 天内体重增量大于 0.1 mg 的雌成虫定为能够致害该抗性品种的个体。

关键词：褐飞虱；水稻；抗性品种 Mudgo；个体致害性指标
中图分类号：Q965.9 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296（2003）03-0305-06

Individual virulence index of *Nilaparvata lugens* on a resistant variety of rice，Mudgo

ZHOU Yi-Hong，HAN Zhao-Jun*（Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects，Ministry of Agriculture，Nanjing Agricultural University，Nanjing 210095，China）

Abstract：Longevity and weight gain of brachypterous females of *Nilaparvata lugens* that had emerged within 24 hours were investigated on two rice varieties，a susceptible variety TN1 and a resistant variety Mudgo，at 28±1℃. A positive correlation was detected between mean weight gain and longevity of females on Mudgo. Individuals that lived less than 7 days lost weight over their life-time，while those living more than 7 days significantly increased in weight. Furthermore，the longevity，fecundity and weight gain over 1－4 days of newly emerged macropterous females were studied on TN1 and Mudgo，and positive correlation was also found to exist between these three parameters in females on Mudgo. Among them longevity and weight gain better reflected the virulent capability of individual females，and thus could provide an index of individual virulence. Based on these results，it was proposed that newly emerged females on Mudgo that could survive over 7 days，or had a weight gain of more than 0.1 mg within the initial 4 days should be defined as virulent.

Key words：*Nilaparvata lugens*；rice；Mudgo；individual virulence index

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 是一种世界性的迁飞性水稻害虫。在我国，每年遭受褐飞虱为害的水稻面积达 2～3 亿亩，年损失稻谷 10～15 亿公斤（李汝铎等，1996）。在针对褐飞虱的综合防治体系中，抗虫品种的利用是一项安全、经济而有效的措施。然而，随着抗虫水稻品种的推广应用，能够克服品种抗性的害虫新生物型也随之形成，这已成为当前抗虫育种工作中面临的重大难题。目前已推广应用的抗褐飞虱的水稻品种多是由主效单基因控制的，而杂交遗传研究结果表明，褐飞虱致害性似乎更接近于多基因遗传模式（Sogawa，1980；Hollender and Pathak，1981；Roderick，1996）。从群体、个体、分子等多方面、多层次研究褐飞虱致害性的遗传变异及品种-害虫互作机制，是了解褐飞虱生物型成因，探寻治理对策的必要途径。在上述的有关研究中，褐飞虱个体生物型的鉴别是其中必不可少的基

基金项目：国家“973”重点基础研究项目（J20000162）
作者简介：周亦红，女，1971 年 4 月生，博士，讲师，主要从事昆虫毒理及昆虫分子生物学研究，E-mail：insectzyh@yahoo.com.cn
* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：zjhan@njau.edu.cn
收稿日期 Received：2002-08-12；接受日期 Accepted：2002-12-09

本环节，而这一直是至今未能很好解决的技术难题（张志涛，1987）。我们以褐飞虱短翅型及长翅型雌成虫为对象，比较了其在敏感品种 TN1（无抗性基因）及抗性品种 Mudgo（具有 *Bph*1 抗虫基因）上几个与寄主适应性（致害性）密切相关的生物学特性，提出了褐飞虱在 Mudgo 上的个体致害性指标，为下一步致害性分子遗传学机制的研究打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试虫源：褐飞虱田间种群采自广西省植保站（南宁市）周围稻田，为不同生物型的混合种群。虫源引入后在室内用水稻品种 TN1 繁殖一代后使用。

试验用苗：感虫水稻品种选用 TN1（无抗虫基因），抗虫水稻品种选用 Mudgo（含 *Bph*1 抗虫基因），均由江苏省农业科学院植物保护研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 褐飞虱雌成虫体重增量与取食天数的关系：吸取初羽化 24 h 内的褐飞虱短翅型雌成虫，在万分之一天平上称重后，用 Parafilm 小袋法（Pathak *et al.*，1982）单头分别接于 TN1 和 Mudgo 分蘖期稻苗的叶鞘基部。隔日定时吸出若虫称重，直至试虫死亡，记录其寿命。

1.2.2 褐飞虱雌成虫体重增量、寿命及产卵量之间的关系：用上述方法，称量羽化 24 h 内的褐飞虱长翅型雌成虫分别在 TN1 和 Mudgo 上取食 1～4 天间的体重，计算每日体重增量。对于 4 日后仍存活的个体，采用试管法观察其寿命及产卵量。具体方法是：选取 TN1 及 Mudgo 分蘖期稻苗，洗净，剪去多余叶片及根系后，用海绵包裹于稻茎基部（以防试虫被淹死），然后置于盛有 10 mL 左右清水的玻璃试管（3 cm × 25 cm）中；每支试管接入一对成虫，以海绵封口；每隔 3 天换苗，在双筒解剖镜下查虫卵数。其间若雄虫逃逸或死亡，另补充一头。交配产卵 12 天后，停止查卵，继续饲养，记录试虫死亡时间。

1.2.3 实验条件与数据分析：实验于室内进行，光照时间为 16L:8D，温度在 28 ± 1℃。实验数据采用 DPS 软件（唐启义和冯明光，1997）分析处理。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱短翅型雌成虫在 TN1 和 Mudgo 上的增重与取食天数的关系

在实验温度条件下，观测了 22 头初羽化短翅型雌成虫在敏感品种 TN1 上的体重增量与取食天数的关系（表 1）。结果表明，试虫在敏感品种上均存活 8 天以上（8～30 天），平均寿命为 18.5 ± 5.6 天；平均体重随取食天数的增加而增加，8 天时达到高峰，以后略有下降。平均体重（y）与取食天数（x）之间的关系可用一元二次方程（$y = -0.0350x^2 + 0.5320x + 0.2160$，$r^2 = 0.9991$）较好地加以拟合（图 1）。而在抗性品种 Mudgo 上测定的 145 头试虫中，寿命不足 7 天的个体在存活期间的平均增重为负值。寿命 7 天以上的个体则增重明显，其体重增量（y）与取食天数（x）变化的趋势也符合一元二次曲线（$y = -0.0373x^2 + 0.5464x - 0.7260$，$r^2 = 0.9897$）（图 1）。存活 7 天以上的试虫中不少个体的最大体重增量与在 TN1 上的平均水平接近，然而其整体的平均增重仍显著小于对照（表 1）。这表明虽然从寿命上来看，这些个体基本适应了 Mudgo，但抗性品种仍然以某种机制对大多数试虫的取食或食物的同化利用产生了不利影响。另外，值得注意的是，这些在抗性品种上能够存活 7 天以上的个体在取食第 2 天时增重并不明显，但在第 4 天时体重突然增加，而后逐渐趋于稳定，表明最初取食的几天中害虫对抗性品种有一个逐渐适应的过程。以上结果初步表明，褐飞虱在 Mudgo 上存活的时间及体重变化（尤其是取食最初 4 天内的体重变化）在一定程度上反映出个体对抗性品种的适应能力（即致害性）。

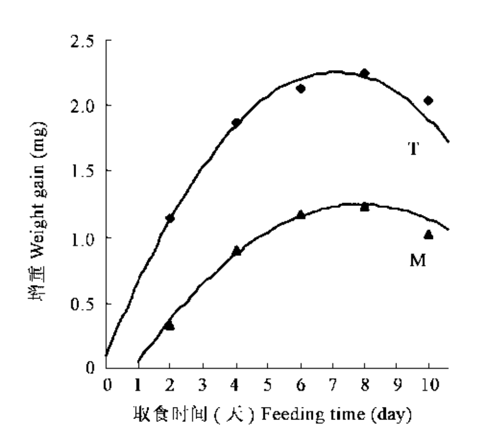


图 1 褐飞虱短翅型雌成虫在 TN1（T）及 Mudgo（M）上体重增量与取食天数的关系

Fig. 1 Weight gain of brachypterous females of *N. lugens* in relation to time of feeding on TN1 (T) and Mudgo (M)

表 1 褐飞虱短翅型雌成虫取食 TN1 和 Mudgo 时的寿命和体重增量

Table 1 Longevity and weight gain of brachypterous females of *N. lugens* on TN1 and Mudgo

品种 Rice variety	寿命 Longevity (d)	测定虫数 Number of insects examined	初始体重 (mg) Initial weight	体重增量 Weight gain (mg) 2 d	4 d	6 d	8 d	10 d
Mudgo	1~2	25	2.36±0.38 a					
	3~4	53	2.37±0.34 a	−0.33±0.29 d				
	5~6	24	2.28±0.30 a	−0.01±0.45 c	−0.04±0.58 c			
	7~8	16	2.31±0.38 a	0.36±0.61 b	0.74±0.89 b	0.64±0.80 b		
	≥9	27	2.28±0.38 a	0.19±0.65 bc	0.93±0.49 b	1.17±0.69 b	1.24±0.61 a	1.02±0.74 a
TN1	≥8	22	2.32±0.44 a	1.14±0.46 a	1.79±0.54 a	2.13±0.70 a	2.25±0.72 b	2.03±0.72 b

表中数据为平均值±标准差。同一列内数据后标有不同字母者表示新复极差检验差异显著（$P<0.05$）。下同

Data are mean ± *SD*. Values within the same column followed by different letters are significantly different at 5% level (Duncan's multiple range test). The same for the following tables

2.2 褐飞虱长翅型雌成虫在 TN1 及 Mudgo 上寿命与体重增量及产卵量之间的关系

为进一步明确褐飞虱雌成虫在抗性品种上的存活天数及体重变化与致害性的关系，以确定适当的个体致害性指标，我们又以初羽化的长翅型雌成虫为材料，观测了其在 TN1 和 Mudgo 上取食第 1~4 天的体重变化、寿命和产卵量（表 2）。

表 2 褐飞虱长翅型雌成虫取食 TN1 和 Mudgo 时的寿命、体重增量和产卵量

Table 2 Longevity, weight gain and fecundity of *N. lugens* macropterous females on TN1 and Mudgo

品种 Rice variety	寿命 Longevity (d)	测定虫数 Number of insects examined	体重增量 Weight gain (mg) 1 d	2 d	3 d	4 d	产卵量 Number of eggs laid	产卵雌虫百分率 (%) % ovipositing females
Mudgo	1~2	40	−0.14±0.31 b				0	0
	3~4	17	0.04±0.31 b	0.13±0.28 b	0.17±0.39 c		0	0
	5~6	8	0.02±0.23 b	0.08±0.48 b	0.23±0.51b c	0.42±0.65 c	0	0
	7~8	11	0.16±0.26 b	0.34±0.53 b	0.59±0.83 b	0.93±0.70 b	30.6±36.3 c	80
	≥9	69	0.13±0.41 b	0.28±0.41 b	0.61±0.57 b	0.93±0.56 b	205.0±141.9 b	100
TN1	≥8	17	0.63±0.48 a	1.14±0.57 a	1.58±0.59 a	1.87±0.54 a	403.0±134.1 a	100

2.2.1 寿命与体重增量的关系：在 TN1 上取食的 17 头褐飞虱长翅型雌成虫寿命均在 8 天以上（8~30 天）。而在取食 Mudgo 时，145 头试虫的寿命分布在 1~27 天不等（图 2）。其中，寿命 4 天以下的个体在存活期间平均体重减轻或增加不明显；寿命 5~6 天的个体在取食第 3、4 天时体重略有增加；而寿命 7~8 天的个体在取食第 3、4 天（尤其第 4 天）时增重十分明显；存活 9 天以上的试虫的平均增重与前者接近（表 2）。另外，总体看来，取食 Mudgo 的个体的平均增重显著低于取食 TN1 的个体。

2.2.2 寿命与产卵量的关系：因褐飞虱雌成虫交配后一般持续产卵 10~15 天，以后需再次交配才能继续产卵，而且第一次交配以后的产卵量大约占总卵量的 75%（Oh，1979）。故我们仅观察了交配后 12 天内雌虫的产卵量。结果表明，在 Mudgo 上存活 6 天以下的褐飞虱雌成虫均未产卵，而存活 7~8 天的个体有 80% 产卵，寿命更长的个体则 100%产卵（表 2），且产卵量与寿命之间表现出明显的正相关（图 3）。观察表明，这些个体产下的卵可正常孵化。因此可以认为，实验种群中能够在 Mudgo 上存活 7 天以上的褐飞虱雌成虫基本上能够在该抗性品种上生存和繁衍，即能够致害该品种。

2.2.3 最初 4 天内的体重增量与寿命及产卵量之间的关系：前面的分析表明，在 Mudgo 上存活 7 天以上的褐飞虱短翅型雌成虫，其体重在取食第 3~

4天时增加最为显著。进一步分析初羽化长翅型雌成虫在该品种上最初4天内的平均增重与寿命和产卵量之间的关系（表3）发现，最初4天内增重≤0的个体，其平均寿命显著短于4天增重≥0.1 mg的个体；平均增重为0.1～2.5 mg的各组间的平均寿命则十分接近。从产卵量的情况来看，最初4天内体重增量≤0的63头雌成虫（包括4天内死亡的57头及存活4天以上的6头）中仅有2头产卵（仅占总数的3.17%），而4天增重≥0.1 mg的各组个体产卵雌虫百分率都在80%以上，平均产卵量也显著高于前者。

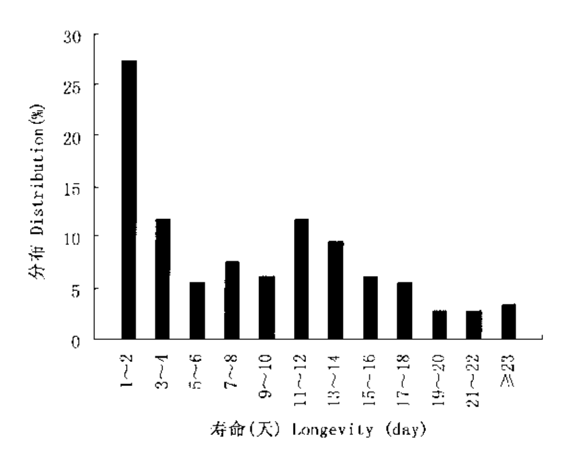


图2 褐飞虱长翅型雌成虫在Mudgo上寿命的分布频率

Fig. 2 Frequency distribution of longevity of *N. lugens* macropterous females on Mudgo

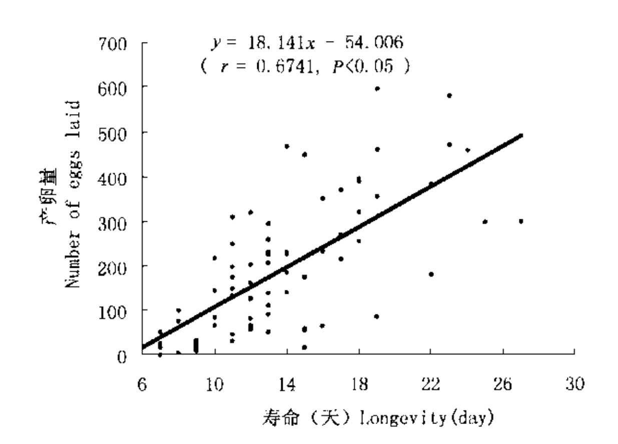


图3 褐飞虱长翅型雌成虫在Mudgo上寿命与产卵量的关系

Fig. 3 Relationship between longevity and fecundity of macropterous females of *N. lugens* on Mudgo

表3 褐飞虱长翅型雌成虫在Mudgo上最初4天内的体重增量与寿命和产卵量的关系

Table 3 Longevity and fecundity of macropterous females of *N. lugens* on Mudgo in relation to weight gain during the first 4 days post-emergence

供试虫数 Number of insects tested	寿命 Longevity (d)	产卵量 Number of eggs laid	产卵雌虫百分率（%）% ovipositing females	最初4天内增重 Weight gain in the first 4 days (mg)
63	2.4±1.3 a	3.3±23.1 b	3.17	-0.5～0
27	11.5±4.7 b	89.3±8.6 b	81.44	0.1～0.5
20	12.9±4.8 b	167.3±188.6 ab	95.00	0.6～1.0
29	12.8±3.5 b	218.0±130.8 ab	96.55	1.1～1.5
7	13.3±4.5 b	246.6±6.6 a	71.431	1.6～2.0
4	12.8±4.8 b	268.8±79.3 a	0	2.1～2.5

由以上分析可以看出，褐飞虱雌成虫在Mudgo上存活的天数能够较好地反映出害虫个体对该品种的适应能力（即致害性），因而可作为较理想的个体致害性指标。另外，褐飞虱初羽化雌成虫在Mudgo上最初4天内的体重增量也可作为个体致害性的参考。根据以上研究结果，我们将羽化后在Mudgo上存活7天以上，或最初4天内体重增量大于0.1 mg的雌成虫定为能够致害该抗性品种的个体。

3 讨论

对于褐飞虱生物型之间的差异，一些昆虫学家从形态学、细胞学、生物化学以及DNA多态性等方面曾进行了大量研究（Saxena and Barrion，1985），但已报道的差异都难以和害虫的寄主致害性联系起来。迄今为止，对生物型的鉴定仍然主要是依据害虫群体对特定水稻品种致害性的差异，主要方法包括苗期群体鉴定、生存率测定、群体建立法等（俞

晓平和叶恭银，1993）。对于生物型个体致害性的鉴别方法则主要是蜜露测定法。该方法是依据褐飞虱的取食量和蜜露排泄量成正比这一现象，通过测量褐飞虱雌虫排出的蜜露量来间接地衡量害虫的取食量，以此作为鉴定个体致害性的指标。该方法在品种抗性鉴定和有关褐飞虱生物型的研究中得到了广泛应用（傅强等，1997；张志涛等，1997；王桂荣等，2001）。然而，应用过程中也发现，褐飞虱取食后分泌的蜜露量常常受到水稻生育期、营养及生理状况，褐飞虱不同个体取食行为及食物同化率的差异，环境条件，实验操作等多方面的影响，使之难以作为一种可靠的、量化的致害性指标，应用于褐飞虱致害性的遗传学研究（Tanaka，1998）。江志强等（1994）也认为，单一的蜜露测定法常常不能准确地反映出褐飞虱个体生物型的属性，应结合其它方法。除蜜露法以外，李青等（1994）提出了亲子鉴定技术，即用后代群体的致害性表现来代表亲本个体的致害特性。但该方法在应用过程中也存在鉴别周期长，工作量大等问题。我们在研究中发现，褐飞虱初羽化雌成虫在 Mudgo 上的存活天数及体重变化能够较好地反映出害虫个体致害性上的差异。以存活天数或体重变化作为鉴别褐飞虱个体致害性的指标，较已有的方法更直接可靠，操作也较为简单。

另外，Tanaka（1998）研究了褐飞虱短翅型雌成虫在抗性品种 Saikai 190（具 *Bph*1 抗虫基因）上取食 2 天后的蜜露分泌量、体重增量及产卵量，证明它们之间有明显相关，并将在该抗性品种上取食 2 天后蜜露分泌量 < 10 mg，或体重增加 < 0.1 mg 的雌成虫定为非致害性个体，反之则为致害性个体。但我们在研究中发现，褐飞虱雌成虫在 Mudgo 上取食的最初 4 天很可能是害虫适应该抗性品种的关键时期。能够在 Mudgo 上正常存活 7 天以上的 80 头长翅型雌成虫中，有 17 头在取食第 2 天体重减轻，第 3 天时仍有 13 头未增重，而第 4 天时除一头以外，其余的体重都明显增加（平均为 0.61 ± 0.54 mg）。同样，在 Mudgo 上存活 7 天以上的 43 头短翅型雌成虫中，第 2 天有 15 头体重比初始体重减轻（占 35.71%），而第 4 天时，这 15 头虫中有 10 头体重显著增加，仅 4 头增重仍不明显。因此，我们以初羽化雌虫第 4 日的体重增量，而不是第 2 日的体重增量作为其个体致害性指标，应该更为准确。另外，该作者提出可根据雌成虫腹部的膨胀程度来辨别个体致害性，并将这一方法应用于田间生物型的监测（Tanaka and Matsumura，2000）。我们在实验中也证实，褐飞虱雌成虫体重增加越多，腹部膨胀越明显。因此，该方法作为一个定性指标用于田间生物型的监测，具有简单、直观、快速的优点，值得参考。

最后，应该指出的是，抗性品种与褐飞虱之间的互作过程是十分复杂的，受到品种的抗性机制，害虫的遗传差异以及环境条件等多方面的影响。因此，对于不同的品种-害虫互作体系，害虫致害性的表现特点可能会有所不同。因此，本研究中提出的褐飞虱对 Mudgo 的个体致害性指标对其它的抗性水稻品种和害虫种群是否同样适用，目前还不能确定。另外，上述这些个体致害性指标只适用于褐飞虱雌成虫。由于褐飞虱雄虫的蜜露分泌量及体重变化都很小，目前还没有适当的方法鉴别其个体致害性。这方面的研究还有待进一步深入。

参 考 文 献 （References）

Fu Q，Zhang Z T，Hu C，1997. The effects of host-related experiences on the infestation of rice brown planthopper，*Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*，40（Suppl.）：116－121.［傅强，张志涛，胡萃，1997. 寄主经历对稻褐飞虱致害特性的影响. 昆虫学报，40（增刊）：116－121］

Hollender J H，Pathak P K，1981. The genetics of the "biotype" of the rice brown planthopper，*Nilaparvata lugens*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*，29：76－86.

Jiang R C，1999. The latest development in the study of rice brown planthopper. *Entomol. Knowl.*，36（5）：308－312.［姜人春，1999. 稻褐飞虱生物型的最新研究进展. 昆虫知识，36（5）：308－312］

Li Q，Luo S Y，Shi A X，Wei S M，Huang F K，1994. Study on the biotypes of *Nilaparvata lugens* Stål in China. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*，7（3）：89－96.［李青，罗善昱，师翱翔，韦素美，黄凤宽，1994. 我国褐稻虱生物型研究. 西南农业学报，7（3）：89－96］

Li R D，Ding J H，Hu G W，Su D W，1996. The Brown Planthopper and Its Population Management. Shanghai：Fudan University Press. 3－4.［李汝铎，丁锦华，胡国文，苏德明，1996. 褐飞虱及其种群管理. 上海：复旦大学出版社. 3－4］

Oh R J，1979. Repeated copulation in the brown planthopper，*Nilaparvata lugens* Stål（Homoptera：Delphacidae）. *Ecological Entomology*，4：345－353.

Pathak P K，Saxena R C，Heinrichs E A，1982. Parafilm sachet for measuring honeydew excretion by *Nilaparvata lugens* on rice. *J. Econ. Entomol.*，73：194－195.

Roderick G K，1996. Genetics of host plant adaptation in delphacide planthoppers. In：Denno R F，Perfect T J eds. Planthoppers：Their Ecology and Management. New York：Chapman and Hall. 551－570.

Saxena R C，Barrion A A，1985. Biotype of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål and strategies in deployment of host plant resistance.

Insect Sci. Appl., 6 (3): 271 – 289.

Sogawa K, 1980. Biological and genetic nature of biotype populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens*. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 14: 186 – 190.

Tanaka K, 1998. Quantitative genetic analysis of biotypes of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). *Heridity*, 80: 499 – 508.

Tanaka K, Matsumura M, 2000. Development of virulence to resistant rice varieties in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae), immigrating into Japan. *Appl. Entomol. Zool.*, 35 (4): 529 – 533.

Tang Q Y, Feng M G, 1997. Practical Statistics and DPS Data Processing System. Beijing: China Agricultural Press.［唐启义，冯明光，1997. 实用统计分析及其DPS数据处理系统. 北京：中国农业出版社］

Wang G R, Fan Y Y, Zhuang J Y, Zheng K L, Zhang Z T, 2001. DNA based genetic variation in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Acta Entomologica Sinica*, 44 (1): 123 – 126.［王桂荣，樊叶杨，庄杰云，郑康乐，张志涛，2001. 稻褐飞虱DNA遗传变异性分析. 昆虫学报，44 (1): 123 – 126］

Yu X P, Ye G Y, 1993. Study on the monitoring techniques for brown planthopper. *Bulletin of Science and Technology*, 9 (4): 260 – 264.［俞晓平，叶恭银，1993. 褐稻虱生物型监测技术的研究. 科技通报，9 (4): 260 – 264］

Zhang Z T, 1987. Some technical problems in identifying the biotype of brown planthopper. *Plant Protection*, 123 (3): 33 – 35.［张志涛，1987. 褐飞虱生物型鉴别的若干技术问题. 植物保护，123 (3): 33 – 35］

Zhang Z T, Chen W, Jiang R C, Zhang Y, Cai X C, 1997. The virulence shift of rice brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) on different rice varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 40 (Suppl.): 110 – 115.［张志涛，陈伟，姜人春，张燕，蔡祥承，1997. 稻褐飞虱致害性的转化. 昆虫学报，40 (增刊): 110 – 115］